

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-061117

(43)Date of publication of application : 04.03.1994

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 1/08

(21)Application number : 05-111184

(71)Applicant : INTEL CORP

(22)Date of filing : 15.04.1993

(72)Inventor : DAO GIANG T
TOH KENNY K H
GAW ENG T
SINGH RAJEEV R

(30)Priority

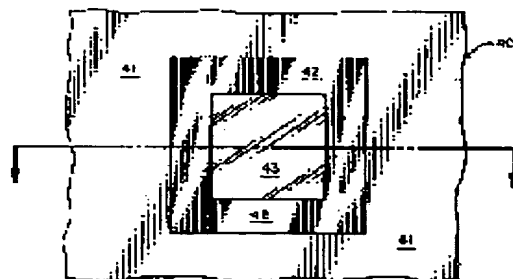
Priority number : 92 869026 Priority date : 15.04.1992 Priority country : US

(54) METHOD FOR FORMING PATTERNED RESIST LAYER ON SEMICONDUCTOR SUBSTRATE AND RETICLE USED THEREFOR

(57)Abstract:

PURPOSE: To form a pattern resist layer exceeding the usual resolution limit and resist elements having a wall angle of 90° , using a reticle composed of an opaque element, phase shift element having specified phase shift transmittivity and reticle opening having a reticle opening transmittivity.

CONSTITUTION: A first section of a reticle includes a reticle opening 43 having a reticle opening transmittivity. A second section includes phase shift rims 42 having a lower phase shift transmittivity than the reticle opening transmittivity at both sides and near the second section and pref. shifts the phase of a radiation passing through the second section about 180° to this radiation. A third section is disposed at the second section, includes a Cr element 41 and is opaque enough to block approximately all the radiation. This reduces the resolution limit and forms a photo resist element having a wall angle of about $80-100^\circ$.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.03.2000

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 21.05.2002

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of

rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-61117

(43)公開日 平成6年(1994)3月4日

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027				
G 0 3 F 1/08	D	7369-2H		
		7352-4M	H 0 1 L 21/ 30	3 1 1 L
		7352-4M		3 0 1 Z
		7352-4M		3 1 1 G

審査請求 未請求 請求項の数4(全 11 頁)

(21)出願番号 特願平5-111184

(22)出願日 平成5年(1993)4月15日

(31)優先権主張番号 8 6 9, 0 2 6

(32)優先日 1992年4月15日

(33)優先権主張国 米国(U S)

(71)出願人 591003943

インテル・コーポレーション

アメリカ合衆国 95052 カリフォルニア
州・サンタクララ・ミッション カレッジ
ブーレバード・2200

(72)発明者 ジャイアン・ティ・ダオ

アメリカ合衆国 94539 カリフォルニア
州・フレモント・ユークリッド プレイ
ス・2523

(74)代理人 弁理士 山川 政樹

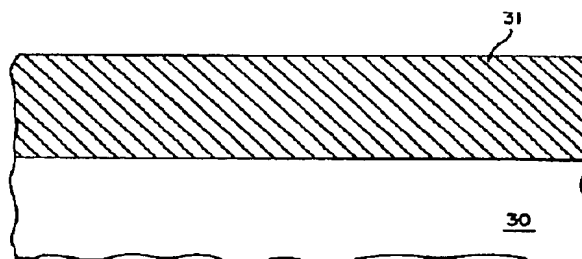
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体基板にパターン化されたレジスト層を形成する方法およびその方法に使用するレティクル

(57)【要約】

【目的】 レティクル、およびレティクルを用いて半導体基板の上にパターン化されたフォトレジスト層を形成する方法を得ることである。

【構成】 基板にフォトレジスト層が被覆される。フォトレジスト層は、レティクルを透過させられる波長を有する放射波に選択的にさらされる。レティクルは少なくとも1つの第1の区域と、少なくとも1つの第2の区域と、少なくとも1つの第3の区域とを有する。第1の区域は第1の透過率を有する。第2の区域は第1の区域に隣接し、第1の透過率より低い第2の透過率を有する。第2の区域は、それを透過する放射の位相を、第1の区域を透過した放射の位相に対して180度推移させられる。第3の区域は第2の区域に隣接する。第3の区域はほぼ不透明であって、放射の透過をほぼ阻止する。フォトレジスト層は現像されて、少なくとも1つのフォトレジスト層開口部と少なくとも1つのフォトレジスト要素を含むパターン化されたフォトレジスト要素を形成する。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板にレジスト層を被覆する工程と、
レティクルを通じて送られる波長を有する放射にレジスト層を選択的に露出する工程と、
レジスト層を現像して、少なくとも1つのレジスト層開口部および少なくとも1つのレジスト要素を含むパターン化されたレジスト層を形成する工程と、
を備え、前記レティクルは、
第1の透過率を有する少なくとも1つの第1の領域と、
第1の透過率より低い第2の透過率を有し、第1の領域に隣接する少なくとも1つの第2の領域であって、この第2の領域を通して送られた放射を第1の領域を通して送られた放射に対して位相を約180度推移させる少なくとも1つの第2の領域と、
第2の領域に隣接し、十分に不透明であって、ほぼ全ての放射の透過を阻止する少なくとも1つの第3の領域と、
を含む、半導体基板上にパターン化されたレジスト層を形成する方法。

【請求項2】 ある開口数およびある映像縮小率のレンズを有する投影プリンタと、ある波長を有する放射波と、レティクルとを用いて半導体基板上にパターン化されたレジスト層を形成する方法において、
基板にレジスト層を被覆する工程と、
レティクルを通じて送られる波長を有する放射にレジスト層を選択的に露出する工程と、
レジスト層を現像して、従来の解像力限界より小さい少なくとも1つの寸法と、少なくとも1つのレジスト層開口部、および約80度と約100度の間の角度を有する少なくとも1つのレジスト要素を含むパターン化されたレジスト層を形成する工程と、
を備え、前記レティクルは、
第1の透過率を有する少なくとも1つの第1の領域と、
第1の透過率の0.75倍を超えない第2の透過率を有し、第1の領域に隣接する少なくとも1つの第2の領域であって、この第2の領域を通して送られた放射の位相を第1の領域を通して送られた放射に対して約180度推移させ、映像縮小率の波長を乗じたものを開口数で除したものの少なくとも1.5倍である幅を有する少なくとも1つの第2の領域と、
第2の領域に隣接し、十分に不透明であって、ほぼ全ての放射の透過を阻止する少なくとも1つの第3の領域と、
を含む、半導体基板上にパターン化されたレジスト層を形成する方法。

【請求項3】 第1の透過率を有する少なくとも1つの第1の領域と、
第1の透過率より低い第2の透過率を有し、第1の領域に隣接する少なくとも1つの第2の領域であって、この第2の領域を通して送られた放射の位相を第1の領域を

2

通って送られた放射に対して約180度推移させる少なくとも1つの第2の領域と、
第2の領域に隣接し、十分に不透明であって、ほぼ全ての放射の透過を阻止する少なくとも1つの第3の領域と、
を備える、ある波長を持つ放射を照射することにより半導体基板上にパターン化されたレジスト層を形成するレティクル。

【請求項4】 第1の透過率を有する少なくとも1つの第1の領域と、
第1の透過率の0.75倍を超えない第2の透過率を有し、第1の領域に隣接する少なくとも1つの第2の領域であって、この第2の領域を通して送られた放射の位相を第1の領域を通して送られた放射に対して約180度推移させ、映像縮小率の波長を乗じたものを開口数で除したものの少なくとも1.5倍である幅を有する少なくとも1つの第2の領域と、
第2の領域に隣接し、十分に不透明であって、ほぼ全ての放射の透過を阻止する少なくとも1つの第3の領域と、
を備える、ある開口数および映像縮小率を有するレンズと、ある波長を有する放射波とを有する投影プリンタに用いられ、半導体基板上にパターン化されたレジスト層を形成するレティクル。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は半導体装置の分野に関するものであり、特に、移相レティクルを用いるパターン化されたレジスト層の形成に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 半導体産業においては、レジスト層をパターン化するために、装置パターンを有するレティクル（マスクとも呼ばれる）を持つリソグラフィック・プリンタが何年にもわたって用いられてきた。現在の半導体装置は非常に小さい寸法のパターンを必要とする。レティクル・パターンをレジスト層内で解像できる限り、パターンをレジスト層内に形成できる。ここでは許容可能なプロセス・ウィンドウを維持しながらレジスト層内で解像できる最少寸法として定義できる解像力は、

$$k_1 \cdot \lambda / NA$$

でほぼ与えられる。ここに、 k_1 は与えられたリソグラフィック・プロセスについての定数（プロセス定数）、 λ は放射の波長、 NA はレンズの開口数である。 k_1 は真の定数ではなく、実際には変化することがあることを当業者はわかるであろう。通常のレティクルはクローム要素と、それらのクローム要素の間の開口部とを有する。通常のレティクルの k_1 は約0.8である。通常のレティクルを用いるレティクルの解像力限度のことを以後通常の解像力限度と呼ぶが、それは約 $0.8\lambda / NA$ である。 λ が約365nmで、 NA が約0.54である

と、通常の解像力限度は約 $0.54\mu\text{m}$ である。

【0003】移相レティクルはクローム要素と、移相要素と、レティクル開口部とを有する。レティクル開口部はクローム要素と移相要素の間の領域である。典型的な従来の移相レティクルが図2に示されている。この移相レティクルはクローム要素11と、移相リム12と、レティクル開口部13を含む。移相リムはある種の移相要素である。レティクルについては後で詳しく説明する。移相リム12を透過させられる放射の透過率は、レティクル開口部13を透過させられる放射の透過率にほぼ同じである。

【0004】本願においては、移相要素の幅は $\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ の一部として表現されることが時にはある。ここに、 IRF はレンズの映像縮小率、 λ は放射の波長、 NA はレンズの開口数である。 $\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ の単位で表される幅が用いられる理由は、移相要素の実際の幅が、それら3つのパラメータを基にして変えられるからである。プロセス定数 k_1 は、移相要素の幅が狭くなるにつれて小さくなる。 k_1 は移相要素の幅の関数であるが、移相要素の幅を与えられて k_1 を決定するための式は知られていない。図1は、移相要素の幅が狭くなるにつれて k_1 が小さくなることを全体として示すが、 k_1 は移相要素幅の線形関数ではないことがある。従来の移相要素レティクルの移相要素の幅が約 $0.4\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ より広い時は、移相要素は広すぎ、レティクルが放射にさらされた時は移相要素の中心の下側のレジスト層は十分に不透明である。移相要素の幅は通常は約 $0.1\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ より狭くない。その理由は、 $0.1\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ より狭い移相要素に対する k_1 が通常のレティクルに対する k_1 と同じ値に近いからである。移相要素の幅が約 $0.4\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ であると k_1 が約0.7であり、 λ が約 365nm で、 NA が約0.94である時の解像力限界が約 $0.47\mu\text{m}$ である。同じ λ と NA に対して解像力限界は通常の解像力限界より約13%小さい。

【0005】移相要素の幅が広がると、少なくとも1つの面倒な問題が起きる。移相要素の幅が狭くなるにつれて、図1に示すように移相要素の中心の下側のレジスト層表面における放射の強さが低くなる。本願において用いる記号 I はレティクルの下側のレジスト層表面上の点における放射の強さ、 I_0 はレティクルが放射にさらされる時にレティクルへ入射する放射の強さをそれぞれ示す。図1において I/I_0 は移相要素の中心の下側の強さの比である。

【0006】図2は移相リムを有する従来の移相レティクルを示す。このレティクルは、石英板10と、移相リム12と、クローム要素11とを含むレティクルベースを備える。移相リム12とクローム要素11は石英板10へ接触する。レティクルはレティクル開口部13を有する。レティクル開口部13はレティクルのうち、石英

板10が移相リム12とクローム要素11を有しない区域である。レティクル開口部13が移相リム12により囲まれ、その移相リムがクローム要素11により囲まれるようにレティクルは構成される。移相リム12の幅は $0.4\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ であり、移相リム12を透過した放射の位相がレティクル開口部13を通った放射に対して 180° 度移相されるような厚さを有する。レティクル開口部13を透過した放射の透過率は、移相リム12を透過した放射の透過率にほぼ等しい。

【0007】レティクルは、図3A~Cに示すように、レジスト層をパターン化するために用いられる。図3Aは図2におけるレティクルの横断面図を含み、石英板10と、クローム要素11と、移相リム12と、レティクル開口部13とを有する。放射がレティクルに入射すると、その放射はレティクル開口部13と移相リム12を通るが、クローム要素11は放射の透過のほぼ全てを阻止する。図3Bは、図2に示されているレティクルを用いる時に、 I/I_0 がレジスト層表面を横切ってどのように変化するかを示す。図3Bからわかるように、クローム要素11の下側の I/I_0 はほぼ零であり、レティクル開口部13の下側の移相リム12から離れている部分の I/I_0 が1に近い。

【0008】各妨害区域A21、A22は図3Aに示すように移相リム12の一部を含む。各妨害区域内部では、移相リム12を透過した放射の位相はレティクル開口部13を透過した放射の位相から約 180° 度推移せられる。妨害区域へ入るレティクル開口部13からの放射は、妨害区域内の移相リム12を透過させられた放射により妨害される。理論的には、妨害は放射が妨害区域の下側のレジスタ層に到達することを必ず阻止するものである。現像後は、理論的なパターン化されたレジスト層は、後退のない壁角度(θ) 90° 度を有するレジスト要素と、レジスト層が残留していないレジスト層開口部とを有する。この明細書で用いる壁角度というのは、レジスト層開口部において、レジスト層要素の下側の基板表面に対するレジスト層の縁部により形成された角度である。壁角度は基板表面から測定され、壁角度 90° 度は垂直縁部である。

【0009】実際のパターン化されたレジスト層は少なくとも1つの問題を典型的に有する。図1からわかるように、いくつかの放射が、移相要素の幅とは無関係に、移相要素の下側のレジスト層に到達する。図1は、移相要素の中心の下側の I/I_0 が、移相要素の幅の増大につれて、増大することを示す。移相要素の幅が約 $0.4\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ の時には、移相要素の中心の下側の I/I_0 は約0.15である。現像後は、図3Cに示すように、レジスト層開口部22の近くにくぼみ23をおのおの有するレジスト要素21を有する。それらのくぼみの深さはくぼみから離れているレジスト要素の厚さの10%より深い。移相リム12が比較的狭い(約0.1I

5

RF・ λ /NA)と、レジスト要素の壁角度(θ)は80度より小さく、または100度より大きくて、通常の解像力限度より小さい寸法を有するレジスト層をパターン化するために通常のレティクルを用いて形成されたレジスト要素に類似する。くぼみからはなれているレジスト要素の厚さの10%より浅いくぼみは、エッチングとイオン打ち込みを含む以後の処理工程中に処理を複雑にすることがある。

【0010】中間のレジスト要素幅(0.1~0.4IRF・ λ /NA)では、解像力は低すぎ、くぼみが深すぎる10ことがある。移相要素の深さの決定においては、レジスト要素内で深すぎるくぼみを与えることなしに最も広い移相要素を典型的に選択する。典型的には、従来の移相要素の幅は約0.15IRF・ λ /NAである。

0.15IRF・ λ /NAにおいては、 k_1 は、0.4IRF・ λ /NAの移相要素幅に対する k_1 より通常の k_1 により近い。したがって、従来の移相レティクルは解像力を最低限改善するだけである。

【0011】移相要素の幅が約0.15IRF・ λ /NAである場合には、レティクル・パターンはレジスト層20内で解像できるが、レジスト・パターンを形成するためのプロセス・ウィンドウは0.40IRF・ λ /NAに近い。また、二律背反性もある。この二律背反性は生産の反復性とくぼみの深さとの間のものである。

【0012】従来の移相レティクルは製造が困難である。現在のレティクル製造装置の解像力限度は1 μ mより僅かに小さい。従来の移相要素の幅は典型的には約0.15IRF・ λ /NAである。これは、IRFが約5で、 λ が約365nm、NAが約0.54である場合には、幅が約0.15 μ mである。

【0013】以上の説明は正フォトレジスト層である。負フォトレジスト層は正フォトレジスト層と比較して映像が反転される。現像後は、従来の移相レティクルを用いて形成される負のレジスト層は、レティクル開口部の下側に負のレジスト要素を、移相リムおよびクローム要素の下側に負のレジスト層開口部を有する。負のレジスト要素の壁角度は80度より小さく、100度より大きく、または各負フォトレジスト層開口部はレジスト要素厚さの5%より厚い残留負フォトレジスト層を有する。通常のレティクルまたは従来の移相レティクルを用いて40形成された負レジスト層および正フォトレジスト層は、以後の処理工程中に問題を複雑にすることがある。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明の目的は、通常の解像力限度より小さい寸法を有するパターン化されたレジスト層と、壁角度が約90度であるレジスト要素とを形成することである。本発明の別の目的は、通常の解像力より小さい寸法を有するレジスト要素と、くぼみから離れているレジスト要素の厚さの10%より深くない深さのくぼみとを形成するために正フォト50

6

レジスト層をパターン化することである。本発明の別の目的は、通常の解像力限度より小さい寸法を有するレジスト層開口部と、残留レジスト層を有するレジスト要素の厚さの5%より厚くない厚さの残留レジスト層、もしあれば、を有するレジスト層開口部をパターン化することである。本発明の別の目的は、通常の解像力限度より小さい寸法と、パターン化されたレジスト層を形成するための、従来技術と比較して拡大された処理ウィンドウとを有するパターン化されたレジスト層を形成することである。本発明の更に別の目的は、レティクルの製造中に容易に解像できるレジスト要素を有する移相レティクルを製造可能なやり方で製造することである。

【0015】

【課題を解決するための手段】レティクル、およびレティクルを用いて半導体基板の上にパターン化されたレジスト層を形成する方法について説明する。ここで説明する好適な実施例においては、レティクルは不透明な要素と、ある移相透過率を有する移相要素と、レティクル開口部透過率を有するレティクル開口部とを有する。移相要素の厚さは、ある波長を持ち、移相要素を透過させられた放射波の位相が、レティクル開口部を透過させられた放射に対して180度推移させられるようなものである。従来技術とは異なり、移相要素の透過率はレティクル開口部の透過率より低い。移相要素の透過率は、移相要素の下側の I/I_0 が0.10より大きくないというようなものである。

【0016】半導体基板の上にパターン化されたレジスト層を形成するためにレティクルが用いられる。レジスト層はレティクルを用いて選択的に露光させられる。レジスト層が現像されて、少なくとも1つのレジスト層と、開口部と、少なくとも1つのレジスト要素を含むパターン化されたレジスト層を形成する。パターン化されたレジスト層は、通常の解像力限度より小さい少なくとも1つの寸法を含む。正フォトレジスト物質が用いられる場合には、レジスト要素の壁角度は約80~100度であり、かつくぼみを有する。そのくぼみの深さは、くぼみから離れているレジスト要素の厚さの10%より深くない。負フォトレジスト物質が用いられる場合には、レジスト要素の壁角度は約80~100度であり、レジスト層開口部は、レジスト要素の厚さの5%を超えない厚さを有する残留レジスト層、もしあれば、とを有する。本発明はここで説明する実施例に限定されるものではない。

【0017】本発明の移相透過率は移相要素の下側の I/I_0 を、ほぼ同じ幅の移相要素を有する従来の移相レティクルと比較して、減少する。したがって、本発明のレティクルは、狭い移相要素を有する従来のレティクルと比較して、より広い移相要素を有することができ、更に、移相要素の下側にほぼ同じ、またはそれより小さい I/I_0 を依然として有する。本発明のレティクルの解

俊力は従来の移相レティクルの解像力より典型的に高い。本発明のレティクルは、通常のレティクルすなわち従来のレティクルと比較して大きい処理ウィンドウを典型的に有する。大きい処理ウィンドウにより、小さい寸法のパターンを一層容易に形成させる大きな自由が許される。本発明のレティクルは発生することが従来の移相レティクルよりも典型的に容易である。その理由は、本発明のレティクルがより広い移相要素を有するからである。本発明のレティクルの移相要素の幅は約 $0.74\mu\text{m}$ とすることができ、一方、従来の移相要素の幅は約 $0.5\mu\text{m}$ とすることができる。

【0018】

【実施例】本発明の実施例は、レティクル開口部透過率を持つレティクル開口部を有するレティクルと、移相透過率を有する移相要素と、不透明な要素を含む。従来技術とは異なり、移相透過率はレティクル開口部透過率より低い。移相透過率は、レジスト表面および移相要素の下側における I/I_0 が 0.10 より大きくないようなものである。半導体基板上にパターン化されたレジスト層を形成するためにレティクルが用いられる。レジスト層が基板の上に被覆され、レティクルを用いて選択的に露光される。レジスト層を現像して、少なくとも1つのレジスト層と、少なくとも1つのレジスト要素とを含むパターン化されたレジスト層を形成する。パターン化されたレジスト層は通常の解像力限度より小さい少なくとも1つの寸法を含む。正フォトリソ物質が用いられる時は、レジスト要素の壁角度は約 $80\sim 100$ 度であり、かつレジスト要素はくぼみを有する。このくぼみの深さは、くぼみから離れているレジスト要素厚さの 10% より深くない。負フォトリソ物質が用いられる時は、レジスト要素の壁角度は約 $80\sim 100$ 度であり、レジスト要素開口部は残留レジスト層、もしあれば、を有し、その残留レジスト層の厚さはレジスト要素厚さの 5% を超えない。本発明はここで説明する実施例により限定されるものではない。

【0019】各種のパターン化されたレジスト層を形成できる。本発明を用いて、通常の解像力限度より大きい、または小さい寸法を有するレジスト層をパターン化するために使用できる。パターン化されたレジスト層を、誘電体、シリコン、または金属のエッチング工程中にマスキング層として使用でき、またはドーピング工程中にマスキング層として使用できる。本発明を用いて多数のパターンを形成できる。接点開口部、ポリシリコン語線、金属線、フィールド分離領域、イオン打ち込み領域等を形成するためにパターン化されたレジスト層を使用できる。本発明により形成できるパターンはここで説明した例に限定されるものではない。本発明は、バイポーラ、金属-酸化膜-半導体、およびIII-V族半導体を含む半導体技術で使用できる。

【0020】各種の材料および機器を使用できる。レテ

ィクルは多様な材料で製造できる。レティクル・ベースは石英、ガラス、シリコン、窒化シリコン、シリコン、オキシニトリド、窒化ホウ素を含むことができる。クローム、金、銅、その他の金属化合物を不透明な要素のために使用できる。ポリシリコン・ステンシルすなわち、「シースルー」レティクルを使用できるが、レティクルは製造が一層困難である。放射に対して不透明な任意の材料を不透明な要素として使用できる。フォトリソレジスト、二酸化シリコン、ポリイミド、窒化シリコン、シリコン・オキシニトリド、およびポリ(メチル・メタクリレート)以下、PMMAと呼ぶ)を含む材料で移相要素を製造できる。

【0021】移相物質の透過率が高すぎると、透過率低下化合物(たとえば、染料)を用いて、または移相要素をより厚くすることにより透過率を低下できる。レティクルへ被覆される移相物質に対しては、透過率が高すぎるならば被覆前に染料を付加すべきである。レティクル開口部透過率と移相要素透過率の間の差を大きくするために、レティクル開口部と移相要素の間の厚さの差を変えることができる。その厚さの差の変更は、移相要素を厚くし、またはレティクル開口部内の石英板またはガラス板をより多くエッチングすることにより行うことができる。移相物質の厚さを決定できるように、その屈折率を知らなければならない。移相要素の厚さを定める式をこの明細書の後の方で示す。

【0022】正フォトリソレジスト、負フォトリソレジスト、コントラスト強調フォトリソレジスト、および可視光スペクトラムの外側の波長を有する放射を用いてパターン化されるレジスト物質を含むレジスト物質を本発明に使用できる。たとえば、反射防止膜のようなその他の物質をレジスト層に使用できる。

【0023】放射の波長および開口数とは無関係に、本発明をリソグラフィック・プリンタに使用できる。リソグラフィック・プリンタの例は投影プリンタおよび近接プリンタを含む。市販のリソグラフィック・プリンタは 436nm より長くない波長(λ)で典型的に動作し、開口数(NA)が約 $0.17\sim 0.54$ で、映像縮小率が約 $1\times 1\sim 10\times 1$ であるレンズを有する。

【0024】本発明においては、移相要素は典型的には移相リムまたは移相アウトリガーである。移相リムは、一方の側に不透明な要素を有し、他方の側にレティクル開口部を有する移相要素である(図5参照)。移相アウトリガーは全ての側が不透明な要素により囲まれている移相要素(図8参照)、または全ての側がレティクル開口部により囲まれている移相要素。

【0025】本発明のここで説明している好適な実施例では、図4に示すように、半導体基板30が正フォトリソレジスト層31で約 $1\mu\text{m}$ の厚さに被覆される。基板30はリソグラフィック・プリンタの内部に置かれる。好適な実施例においては、リソグラフィック・プリンタは、

約365nmの波長の放射波を放出する放射源と、開口数が約0.54で、映像縮小率が約5×1であるレンズとを有する投影プリンタである。5×1の映像縮小率は、映像がフォトレジスト層の表面に達した時に、レティクル上の映像が約5分の1に縮小されることを意味する。レンズは放射源とフォトレジスト層の間に配置される。投影プリンタの一例がニコニライン投影プリンタである。レティクルがプリンタ内部に置かれ、放射源とレンズの間にレティクルが配置される。別の実施例においては、放射源を投影プリンタの外部に設けることができる。

【0026】図5は石英板40と、クローム要素41と、移相リム42と、レティクル開口部43とを有するレティクルを示す。クローム要素41と移相リム42は石英板40に接触する。レティクル開口部43はレティクルのうち、石英板40がクローム要素41と移相リム42を有しない区域である。レティクル開口部43は十分に不透明であって、各側の長さは約2.5μmである。レティクル開口部43は移相リム42により囲まれる。移相リム42は窒化シリコンを含み、幅が約0.74μm、厚さが約183nmである。

【0027】フォトレジスト層は波長が約365nmの放射に選択的にさらされる。さらされると、レティクルは図6Aに示すように3種類の区域を有する。第1の区域はレティクル開口部透過率を有するレティクル開口部43を含む。第2の区域は両側および第1の区域の近くに移相リム42を含む。従来技術とは異なり、移相42の移相透過率はレティクル開口部透過率より低い。好適な実施例においては、移相透過率はレティクル透過率の約0.20倍である。この透過率を達成するために染料を移相要素内部に含ませることができる。本発明とは異なり、従来技術の移相透過率はレティクル透過率とほぼ同じである。好適な実施例においては、第2の区域はそれを透過した放射の位相を第1の区域を透過した放射に対して約180度推移させる。第3に区域はクローム要素41を含む。各第3の区域は、第1の区域とは反対側の第2の区域の側で第2の区域の近くに配置される。第3の区域は十分に不透明であって、放射のほぼ全ての透過を阻止する。

【0028】図6Bは図5に示されているレティクルを用いた時に、 I/I_0 がフォトレジスト層の表面においてどのように変化するかを示す。第2の区域から離れている第1の区域の下側の I/I_0 は約1であり、第3の区域の下側の I/I_0 はおおよそ0である。第2の区域は妨害区域A51、A52の内部にある。第1の区域からのいくつかの放射が妨害区域に入る。移相リム42を出る放射は、レティクル開口部43を出て、妨害組立体器A51、A52に入る放射を妨害する。移相透過率はレティクル開口部透過率より低く、かつ妨害区域内部での妨害のために、第2の区域の下側の I/I_0 は0.10

より大きくない。

【0029】基板を投影プリンタから取り出して現像し、図6Cに示されているフォトレジスト層を形成する。フォトレジスト層はフォトレジスト層開口部52と、フォトレジスト要素51を含む。フォトレジスト層開口部52はレティクルの第1の区域の下側に配置される。5×1映像縮小率のために、フォトレジスト層開口部52の幅は約0.50μmである。フォトレジスト要素51はレティクルの第1の区域と第2の区域の下側に配置される。与えられた移相リム幅 λ とNAのために、各フォトレジスト要素51の壁角度(θ)は約80~100度である。各フォトレジスト要素51はくぼみ53を有する。好適な実施例における移相透過率が第2の区域の下側の I/I_0 を低くするから、そのこのくぼみの深さはレティクルの深さの10%を超えない。映像縮小率のために、図6Aにおける寸法は図6B、6Cのその約5倍である。本発明の好適な実施例をより良く示すために、それらの図面は異なる尺度で描いている。

【0030】好適な実施例により形成されているフォトレジスト層は、前記波長および開口数に対して、通常の解像力限度より狭い(約0.50μm)。したがって、通常の解像力限度より小さい寸法のパターン化されたフォトレジスト層が形成される。正フォトレジストを含むパターン化されたフォトレジスト層は、壁角度が約80~100度で、離れているフォトレジスト層の厚さの10%を超えない深さを有するくぼみを有する。負フォトレジスト物質を含むパターン化されたフォトレジスト層は、壁角度が約80~100度で、フォトレジスト層の厚さの5%を超えない厚さの残留フォトレジスト層、もしあれば、を持つフォトレジスト層開口部を有する。フォトレジスト層開口部内には残留フォトレジスト層が形成されない事が好ましい。残留フォトレジスト層がフォトレジスト層開口部内に形成されるならば、その残留フォトレジスト層を除去するために短いプラズマ灰化工程を行うことができる。レティクル開口部透過率と同じ移相透過率を有する従来のレティクルは、壁角度が80度より小さいか、100度より大きいフォトレジスト要素、離れている部分のフォトレジスト要素の厚さの10%を超える深さを有するフォトレジスト要素、またはフォトレジスト要素の厚さの5%を超える厚さの残留フォトレジスト要素を持つフォトレジスト要素を有するパターン化されたフォトレジスト要素を形成する。

【0031】本発明の要旨および範囲を逸脱することなしに多くの変更を使用できる。レティクルはフォトレジスト要素の組み合わせを有することができる。別の実施例においては、移相リムは移相要素であり、第2の移相要素は移相リムの内部に配置される。図5を参照すると、第2の移相要素がレティクル開口部43を置き換える。第1の移相要素と第2の移相要素が第1の移相透過率と第2の移相透過率をそれぞれ有する。第1の移相透

過率は第2の移相透過率より低い。第1の移相要素を透過した放射の間の放射波の位相差は第1の移相要素を透過した放射の位相とは約180度異なるように、第1の移相要素の厚さと第2の移相要素の厚さが調整される。

【0032】移相透過率の正確な値は知られていないが、移相要素幅が広くなるにつれて移相透過率を低くせねばならないから、第2の区域の下側の I/I_0 は0.10を超えない。一般に、移相透過率は次の式にほぼ等しくなければならない。

$$\tau_1 = \tau_2 \cdot [(0.10 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA}) / w]^2$$
ここに、 τ_1 は好適な実施例の移相透過率または前記別の実施例の移相透過率、 τ_2 はこの好適な実施例の開口部透過率または前記別の実施例の第2の移相透過率、 IRF は映像縮小率、 λ は放射の波長、 NA は開口数、 w は $\text{IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ の単位で表した移相要素の幅である。本発明を用いた時は移相要素の幅は約 $0.1 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA} \sim 0.4 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ とすることができる。好適な実施例の移相リムの幅は約 $0.74 \mu\text{m}$ である。これは、前記 IRF 、 λ および NA に対しては、約 $0.22 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ である。したがって、移相透過率(τ_1)はレティクル開口部透過率(τ_2)の約2倍である。移相透過率が10～20%のように低い時は、多くのレジスト物質を大きい移相要素(面積が数平方ミクロン)を有するレティクルにより強く露出できる。移相幅に応じて移相透過率を調整できるから、 τ_1 を τ_2 の0.20～0.75倍にできる。本発明の実施例は移相要素の下側のフォトレジスト層をつよく露出することはない。移相要素の幅は全体として $0.15 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ であり、典型的には、 τ_2 の0.50倍より大きくない。

【0033】別の実施例は、レティクル開口部からの距離に応じて変化する移相透過率を有する。図5を参照して、移相リム42の移相透過率を、レティクル透過率とほぼ同じであるレティクル開口部43に近い移相透過率を有することができる。レティクル開口部からの距離が大きくなるにつれて、移相透過率が低くなる。移相リム42がクローム要素41に接触する場所では移相透過率は最低である。

【0034】移相透過率を低くする方法は、1)と透過率が低い移相物質を選択する、2)移相要素内部に少なくとも1種類の染料を含み、または移相要素に少なくとも1種類の染料を被覆する、または、3)移相要素を厚くする、ことを含む。透過率とは無関係に移相要素の厚さを決定する一般式は、

$$x \cdot \lambda / 2 (\eta - 1)$$

である。ここに、 x は奇数整数(1、3、5等)、 λ は放射の波長、 η は移相物質の屈折率である。希望の透過率を依然として与える x の最低値を用いなければならない。前記好適な実施例においては、 x は1である。レティクル開口部と移相要素が同じ物質で構成されるものと

すると、移相透過率が十分に低くなるように x を大きい数にできる。

【0035】本発明の別の実施例が図7～13に示されている。図7において、レティクル開口部60により囲まれている移相リム62によりクローム要素61が囲まれる。図8は移相アウトリガーを用いる実施例を含む。図8はクローム要素71により囲まれるレティクル開口部透過率を有するレティクル開口部70を含む。レティクルは4つのアウトリガーを含む。各アウトリガーは長方形の移相要素であって、その移相透過率はレティクル開口部透過率より低い。アウトリガー72はレティクル開口部70の縁部近くに配置される。アウトリガー72の間隔は、レティクル開口部70の中心とアウトリガー72の中心の間の距離が約 $0.7 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA} \sim 0.8 \text{ IRF} \cdot \lambda / \text{NA}$ であるようなものである。図9は、移相リム82により囲まれている第1のレティクル開口部83により囲まれているクローム要素81を有する。移相リム82は第2のレティクル開口部80により囲まれる。図10は、クロームリム93により囲まれている移相リム92により囲まれているクローム要素91を有する。クロームリム93はレティクル開口部90により囲まれる。図7～10は説明のために示したものであり、図5とは異なる尺度をとることができる。

【0036】正方形パターン以外のフォトレジスト層パターン、または通常の解像力限度より大きい寸法を持つフォトレジスト層パターンを形成するために本発明の別の実施例を使用できる。図11は、正フォトレジスト層内に長方形パターンを形成するために用いられるレティクルを示す。この場合には、寸法(幅)は通常の解像力限度より小さく、別の寸法(長さ)は通常の解像力限度より大きい。レティクルは、長さが約 $15 \mu\text{m}$ 、幅が $2.5 \mu\text{m}$ であるレティクル開口部100を含む。移相要素102がレティクル開口部の長辺に沿って配置される。各移相要素102は長さが約 $15 \mu\text{m}$ 、幅が $1.0 \mu\text{m}$ である。レティクル102の透過率はレティクル開口部100の透過率より低い。クローム要素101がレティクル開口部100と移相要素102を囲む。クローム要素101の長辺106の長さは $15 \mu\text{m}$ 、短辺105の長さは約 $4.5 \mu\text{m}$ である。移相要素102は長辺106の全長に沿って配置されるが、短辺105の全長に沿って配置されることはない。

【0037】レティクル放射源とレンズを含む前記投影プリンタ内に配置される。基板上に正フォトレジスト層が付着され、レティクルにより選択的に露出され、現像された後で、フォトレジスト要素により囲まれているフォトレジスト層開口部フォトレジスト層内に形成される。フォトレジスト層開口部の長さは約 $3.0 \mu\text{m}$ 、幅は約 $0.5 \mu\text{m}$ である。したがって、形成されてフォトレジスト層パターンは、通常の解像力限度(約 $0.54 \mu\text{m}$)より小さい寸法(幅)と、通常の解像力限度より

大きい別の寸法（長さ）のフォトレジスト層開口部を有する。フォトレジスト層開口部の長さは通常の解像力限度より長いから、移相要素は短辺105の全長に沿う必要はない。フォトレジスト層開口部の幅が通常の解像力限度より狭いから、移相要素は長辺106の長さに沿う必要はない。移相要素はクローム開口部の全ての辺に沿って用いることができるが、フォトレジスト層開口部の寸法は変更できる。パターン化されたフォトレジスト層はフォトレジスト要素とフォトレジスト層開口部を含む。移相要素の幅が k_1 まで小さくされているから、フォ

【0038】図12は、移相リムと移相アウトリガーを用いる「Lバー」パターンを示す。レティクル開口部120は移相リム121により囲まれる。レティクル開口部122は移相アウトリガー123により囲まれる。図12はクローム要素124も含む。直線的なパターン以外のパターンを、図13に示すように本発明により形成できる。レティクル開口部130はその1つの側にフォトレジスト要素と131を有し、反対側に移相要素132を有する。レティクル開口部133は移相アウトリガー134により部分的に囲まれる。移相要素132の一部がレティクル開口部133の溜の移相アウトリガーとして作用する。したがって、移相要素132の一部がレティクル開口部130に関してリムとして、およびレティクル開口部133に関してアウトリガーとして、作用する。

【0039】本発明は下記のように利点を含む。好適な実施例は、レティクル開口部透過率を持つレティクル開口部と、移相透過率を持つ移相要素を有するレティクルを含む。移相透過率は、 I/I_0 が0.10より大きくないようなものである。本発明のレティクルによりパターン化された正フォトレジスト層が、くぼみを有するフォトレジスト要素を形成する。そのくぼみの深さは、くぼみから離れているフォトレジスト要素の厚さの10%より深くない。本発明のレティクルによりパターン化された負フォトレジスト層が、残留フォトレジスト層、もしあれば、を有するレジスト層開口部を形成する。その残留フォトレジスト層の厚さはフォトレジスト層の厚さの5%を超えない。本発明のレティクルはもっと広いフォトレジスト要素をも有することができ、しかも、レティクル開口部透過率とほぼ同じ移相透過率を持つより狭いフォトレジスト要素を有する従来のレティクルと比較して、フォトレジスト層におけるほぼ同じか、より低い強さの放射を依然として有する。

【0040】フォトレジスト要素の幅が $0.41RF \cdot \lambda/NA$ に近づくにつれて、プロセス定数 k_1 が0.7に近づく。解像力限度は小さくなり、より小さい寸法パターンを分解できる。というのは、本発明のレティクルにより広い移相要素を使用できるからである。パターン化されたフォトレジスト層の寸法が解像力限度より大きい時は、パターン化されたフォトレジスト層内のフォトレジスト要素の壁角度は典型的には80〜約100度である。本発明のレティクルは約80〜約100度の壁角度を持つフォトレジスト要素を形成する傾向が一層ある。というのは、本発明のレティクルは、より狭いフォトレジスト要素を有する従来の移相レティクルと匹敵するより小さい解像力限度を典型的に有するからである。

【0041】本発明のレティクルによりパターン化されたフォトレジスト層を形成するための処理ウィンドウは、解像力の向上のために、従来の移相レティクルと比較して大きい。たとえば、本発明のレティクルを用いる実施例の解像力限度は約 $0.47\mu m$ であり、従来の移相レティクルを用いる方法の解像力限度は約 $0.53\mu m$ である。幅が約 $0.55\mu m$ であるフォトレジスト層要素またはフォトレジスト層開口部でフォトレジスト層をパターン化するものとする、本発明のレティクルを用いる実施例は、従来の移相レティクルを用いる方法より一層容易にパターン化する。その理由は、本発明の解像力限度が希望の寸法よりはるかに小さいからである。

【0042】本発明のレティクルは従来のレティクルより製造が典型的に容易である。現在のレティクル製造機器の解像力限度は $1\mu m$ より少し低い。ここで説明している好適な実施例は約 $0.221RF \cdot \lambda/NA$ である移相リム、または $1RF$ が約5で、 λ が約 $365nm$ 、 NA が約0.54である場合には幅が $0.74\mu m$ である移相リムを有する。従来の移相レティクルは、約 $0.151RF \cdot \lambda/NA$ である移相リム、または $1RF$ が約5で、 λ が約 $365nm$ 、 NA が約0.54である場合には幅が $0.51\mu m$ である移相リムを典型的に有する。本発明のフォトレジスト要素の幅がレティクル製造機器の本発明のレティクルは解像力限度に近いから、本発明のレティクルは従来のレティクルと比較して製造が容易である。

【図面の簡単な説明】

【図1】フォトレジスト要素とプロセス定数および移相要素の中心の下側の I/I_0 の関係を示すグラフである。

【図2】従来のレティクルの一部の平面図である。

【図3】図2のレティクルの横断面図（A）と、図2のレティクルを用いる I/I_0 （B）と、図2のレティクルを用いてパターン化された正フォトレジスト層の横断面図（C）である。

【図4】正フォトレジスト層を被覆されている基板の横断面図である。

15

【図5】本発明の好適な実施例の移相リムを有するレティクルの平面図である。

【図6】図5に示されている本発明の好適な実施例のレティクルの横断面図(A)と、図4のフォトリソ層を露出するために図5のレティクルを用いる I/I_0

(B)と、図5に示されている本発明の好適な実施例のレティクルを用いてパターン化されたフォトリソ層の横断面図(C)である。

【図7】本発明の別の実施例を有するレティクルの平面図である。

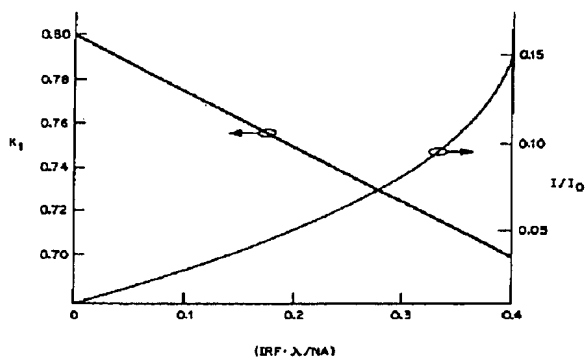
【図8】本発明の別の実施例を有するレティクルの平面図である。

【図9】本発明の別の実施例を有するレティクルの平面図である。

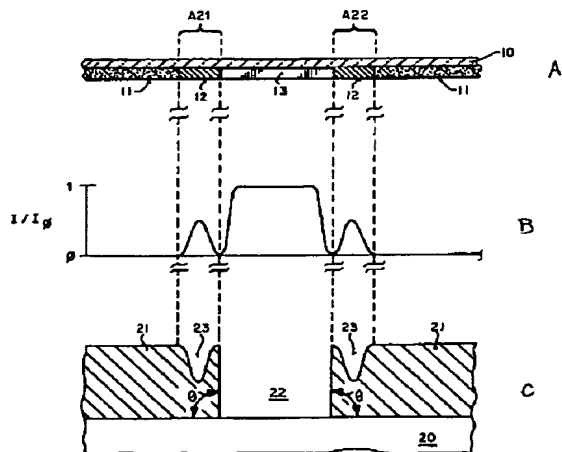
【図10】本発明の別の実施例を有するレティクルの平面図である。

【図11】本発明の別の実施例を有するレティクルの平面図である。

【図1】



【図3】



16

【図12】本発明の別の実施例を有するレティクルの平面図である。

【図13】本発明の更に別の実施例を有するレティクルの平面図である。

【符号の説明】

30 半導体基板

31 正フォトリソ層

40、91 石英板

41、61、71、101 クローム要素

10 42、62、82 移相リム

43、60、70、100 レティクル開口部

A51、A52 妨害区域

51 フォトリソ要素

52 フォトリソ層開口部

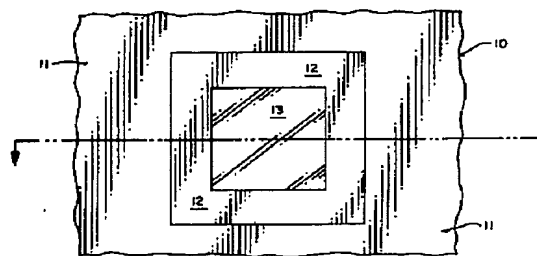
53 くぼみ

72 アウトリガー

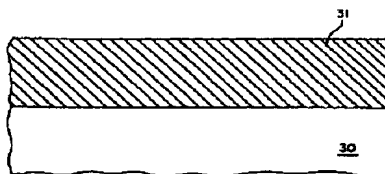
93 クロームリム

102 移相要素

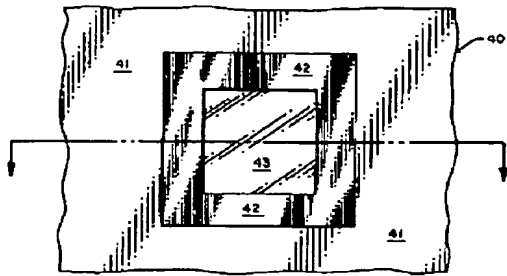
【図2】



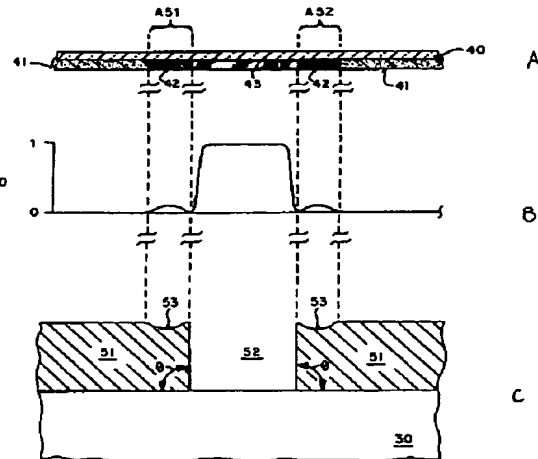
【図4】



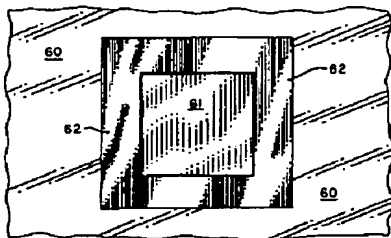
【図5】



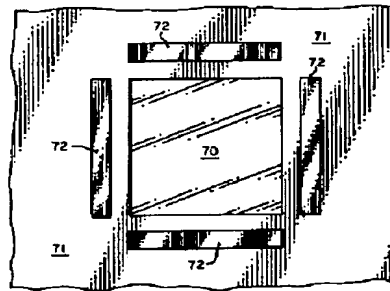
【図6】



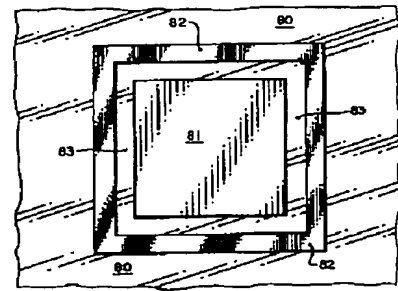
【図7】



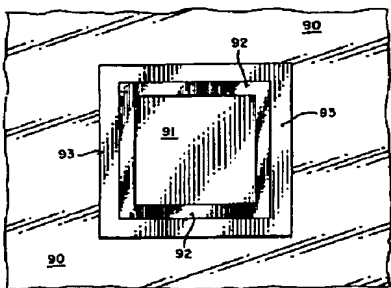
【図8】



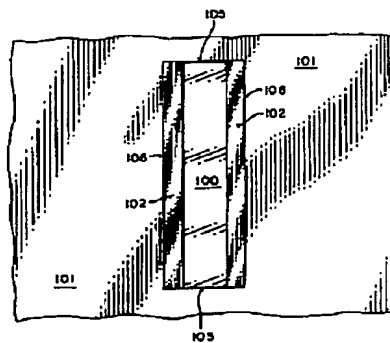
【図9】



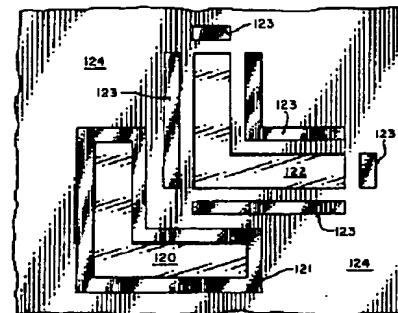
【図10】



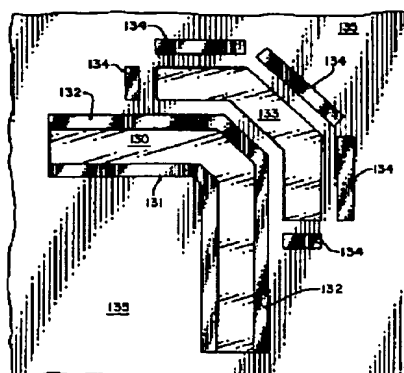
【図11】



【図12】



【図 1 3】



フロントページの続き

(72)発明者 ケニイ・ケイ・エイチ・トー
アメリカ合衆国 94086 カリフォルニア
州・サニーヴェイル・イースト エヴリン
アヴェニュー・ナンバー332・730

(72)発明者 エン・ツァン・ガウ
アメリカ合衆国 95133 カリフォルニア
州・サン ホゼ・ボンシェフ ドライブ・
2785

(72)発明者 ラジーヴ・アール・シン
アメリカ合衆国 95051 カリフォルニア
州・サンタ クララ・サン アントニオ
プレイス・2167